

Convertitori digitale-analogico (D/A)

Convertitori D/A a resistori pesati

L'architettura di un convertitore D/A a resistori pesati, rappresentata in Figura 1, è costituita da un sommatore realizzato tramite un amplificatore operazionale.

Ad ogni ingresso è associata una resistenza collegata ad una tensione di riferimento tramite un interruttore. Ogni interruttore è pilotato da un bit che può assumere valore 0 oppure 1. Il valore della resistenza è inversamente proporzionale al peso del bit stesso.

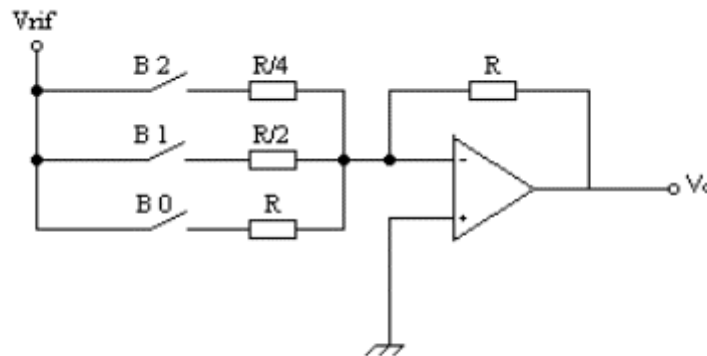


Figura 1 “Convertitore D/A a resistori pesati”

Il principio di funzionamento di questo tipo di convertitore consiste nell'associare ad ogni bit una corrente proporzionale al suo peso, e quindi scalata secondo potenze di due.

Quando il bit ha valore 1, la resistenza è collegata alla tensione di riferimento; quando il bit ha valore 0, la resistenza non è collegata.

L'uscita dipende esclusivamente dalla chiusura e apertura degli interruttori.

Nel caso in cui gli interruttori sono tutti chiusi, e quindi ciascun bit ha valore 1, la tensione d'uscita V_o è pari a:

$$V_o = - R [B_0/R + B_1/(R/2) + B_2/(R/4)] V_{rif} \quad (1)$$

Dove B_0 , B_1 , ecc.. rappresentano i valori dei singoli bit.

Il circuito in linea di principio molto semplice non offre prestazioni particolarmente attraenti, in quanto richiede l'utilizzo di resistori di valore molto diverso fra loro, la cui realizzazione in configurazione integrata rappresenta un problema tecnologico particolarmente ostico.

Infatti, al crescere del numero dei bit, risulta difficile integrare resistori con valori di resistenza molto diversi e garantire che i valori dei loro rapporti nominali restino costanti al variare delle condizioni di funzionamento. Inoltre l'architettura è anche caratterizzata da limitata velocità di conversione dovuta ai transistori delle correnti on-off nei rami resistivi.

Convertitori D/A con rete a scala R/2R

Tali convertitori superano i problemi che caratterizzano i convertitori a resistori pesati. Essi utilizzano solo resistori di resistenza R e $2R$, da qui l'origine del nome. In configurazione integrata i resistori hanno lo stesso ingombro.

Il circuito, rappresentato in Figura 2, è composto da deviatori analogici (interruttori) che rappresentano la stringa di bit necessaria per la conversione.

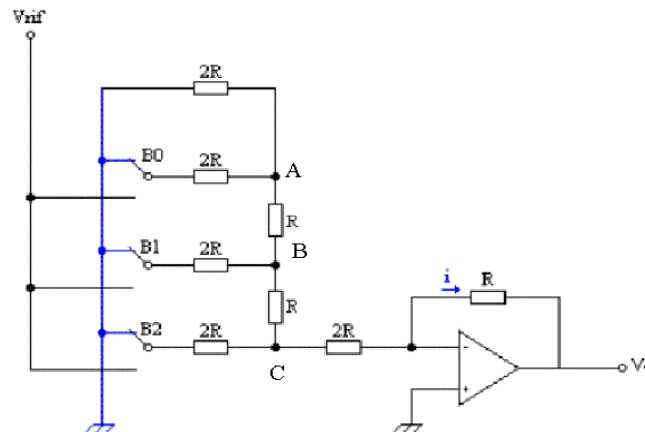


Figura 2 “Convertitori D/A con rete a scala R-2R”

Se un bit ha valore 0, il deviatore commuta verso massa; se il bit ha valore 1, il deviatore commuta verso la tensione di riferimento V_{rif} .

Il circuito garantisce che la resistenza vista dalla tensione di riferimento verso massa è sempre pari a R , indipendentemente dallo stato dei bit d'ingresso.

Per esempio, commutando B_2 a V_{rif} e lasciando gli altri deviatori a massa, ossia considerando la stringa 1 0 0, nel deviatore circola una corrente I pari a $V_{rif}/3R$ mentre all'operazionale perviene una corrente $I/2$.

Invece, commutando B_1 a V_{rif} e lasciando aperti gli altri deviatori, ottenendo la stringa 0 1 0, la corrente che perviene all'operazionale è pari a $I/4$.

Infine, eseguendo la stessa operazione con B_0 (stringa 0 0 1) all'operazionale giunge una corrente pari a $I/8$.

Lo stesso procedimento si può ripetere con ogni ulteriore ingresso.

Applicando il principio della sovrapposizione degli effetti, si verifica che la tensione d'uscita è pari a:

$$V_o = - (B_2 / 2 + B_1 / 4 + B_0 / 8) V_{rif} / 2R \quad (2)$$

Rispetto al convertitore a resistori pesati, il convertitore con rete a scala $R/2R$ presenta lo svantaggio di richiedere un maggior numero di resistenze; tuttavia le resistenze assumono solo i valori R e $2R$, e quindi non si incorre nel problema di avere valori di resistenza molto diversi tra loro.

Un inconveniente di questo circuito è dovuto alla presenza di deviatori analogici sottoposti all'intera differenza di potenziale V_{rif} , che necessitano pertanto di particolari accorgimenti costruttivi che comportano un aumento del costo del circuito integrato.

Altro inconveniente è dato dalla variazione delle correnti nelle resistenze alla commutazione degli interruttori che produce dei transitori dovuti alla carica e scarica delle capacità parassite.

Analogamente a quanto accade nei convertitori a resistori pesati si hanno delle limitazioni sulla massima frequenza di clock di funzionamento.

Convertitori D/A con rete a scala $R/2R$ invertita

I convertitori a scala $R/2R$ invertita sono una variazione dei convertitori $R/2R$ convenzionali, essi risolvono alcuni dei principali inconvenienti esaminati.

Il circuito, come mostrato in Figura 3, è composto da deviatori analogici associati ai singoli bit. Se un bit assume valore 0, il deviatore corrispondente commuta verso massa; invece, se il bit ha valore 1, il deviatore commuta verso l'operazionale. Infatti, quando gli interruttori B sono nella posizione 1, le resistenze $2R$ sono collegate all'ingresso invertente dell'amplificatore, che è una massa virtuale e quindi vincolata a potenziale zero volt; quando sono nella posizione 0 le resistenze $2R$ sono collegate francamente alla massa del circuito.

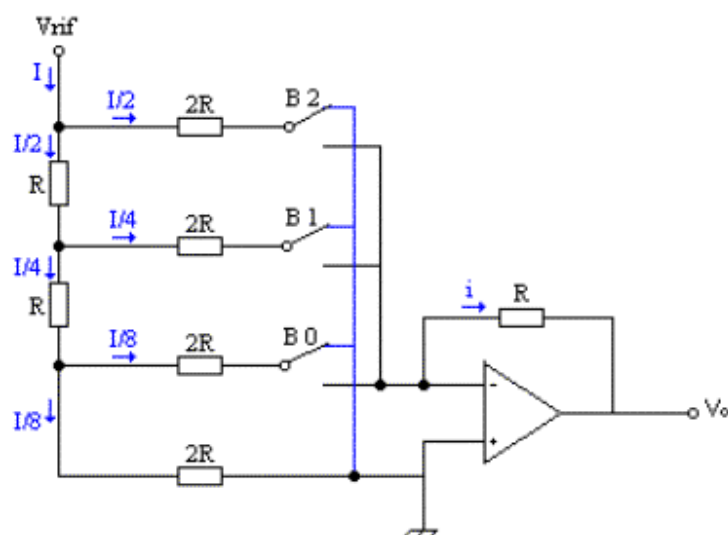


Figura 3 "Convertitori D/A con rete a scala $R/2R$ invertita"

Le differenze di potenziale ai capi di tali resistenze non cambiano e le correnti che le attraversano hanno valore costante, eliminando così la possibilità di eventuali transitori. Per quanto riguarda gli

interruttori, i loro morsetti sono collegati da un lato a massa e dall'altro all'ingresso invertente dell'amplificatore operazionale, che è una massa virtuale, pertanto la differenza di potenziale ai loro capi è praticamente nulla.

Il principio di funzionamento del circuito consiste sempre nel diversificare il percorso delle correnti. In realtà, ad ogni nodo la corrente I si divide in parti uguali perché essa vede sempre due rami di resistenza $2R$ in parallelo; infatti nel nodo confluiscono le correnti dei diversi rami, a seconda delle posizioni dei deviatori. Si ha pertanto che la tensione d'uscita è pari a:

$$V_o = -V_{rif} (B_2/2 + B_1/4 + B_0/8) \quad (3)$$

Rispetto al convertitore a scala $R/2R$ convenzionale, questo convertitore presenta il vantaggio che, rimanendo costante la corrente circolante nelle resistenze al variare della configurazione della stringa binaria d'ingresso, non vi è più la limitazione di velocità dovuta alla carica e scarica delle capacità parassite.

Riassumendo, un convertitore D/A consente la generazione di forme d'onda arbitrarie descritte da sequenze numeriche. L'architettura più diffusa ($R/2R$) funziona come un circuito di tenuta di ordine zero producendo forme d'onda costanti a tratti. L'utilizzo di opportuni filtri analogici d'uscita consente di ridurre gli effetti indesiderati associati alle variazioni rapide di tensione che caratterizzano lo *switching* tra i valori delle tensioni d'uscita.